

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-034298

(43)Date of publication of application : 31.01.2002

(51)Int.Cl.

H02P 9/14

(21)Application number : 2000-211619

(71)Applicant : HITACHI LTD
KANSAI ELECTRIC POWER CO INC:THE

(22)Date of filing : 12.07.2000

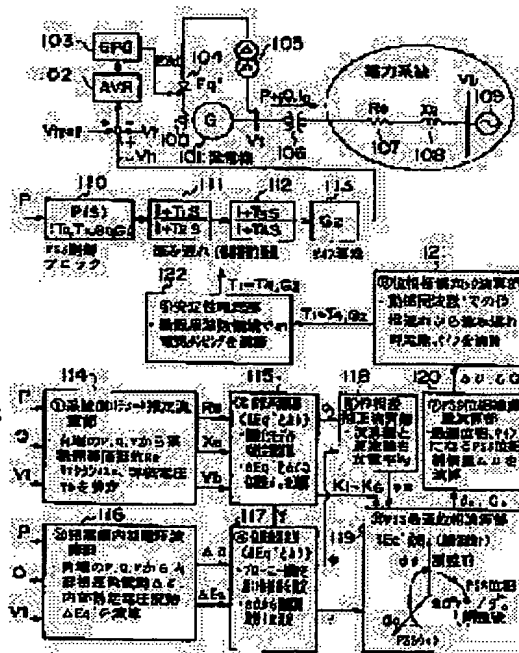
(72)Inventor : SEKOGUCHI MASAHIRO
GOTO MASUO
AMANO MASAHIKO
SHIBATA KATSUHIKO
NERI KATSUYOSHI
NISHIGAITO HIDETOSHI

(54) GENERATOR EXCITATION-CONTROLLING DEVICE

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To compose a one-machine infinity system model regardless of the position of a middle load, and to set a control constant for generating a stabilization signal to an optimum value based on the amount of electricity at the own end of a generator.

SOLUTION: At a parameter estimation operation part 114, equivalent resistance, equivalent reactance, and equivalent voltage at a system side are estimated according to merely effective power, reactive power, and a terminal voltage at the own end of the generator. At a phase difference operation part 115, a linear block diagram is created for obtaining the phase difference between a generator internal induction voltage and an internal phase angle based on each estimated value and a generator constant, and at the same time characteristic constants K1 to K6 are obtained. At a PSS amount-of-phase-compensation operation part 120, an optimum phase and an amount $\Delta\theta$ of PSS phase compensation are obtained based on the phase difference and characteristic constants, time constants T1 to T4 and a gain G2 are obtained based on the operation value, and the time constants of advance and delay elements 111 and 112 and the gain of a gain element 113 are determined according to the time constants T1 to T4 and gain G2.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2002-34298

(P2002-34298A)

(43)公開日 平成14年1月31日(2002.1.31)

(51)Int.Cl.
H 0 2 P 9/14

識別記号

F I
H 0 2 P 9/14

デマコト(参考)
A 5 H 5 9 0

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 12 頁)

(21)出願番号 特願2000-211619(P2000-211619)

(22)出願日 平成12年7月12日(2000.7.12)

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(71)出願人 000156938

関西電力株式会社

大阪府大阪市北区中之島3丁目3番22号

(72)発明者 世古口 雅宏

茨城県日立市国分町一丁目1番1号 株式

会社日立製作所電機システム事業部内

(74)代理人 100066979

弁理士 鶴沼 辰之

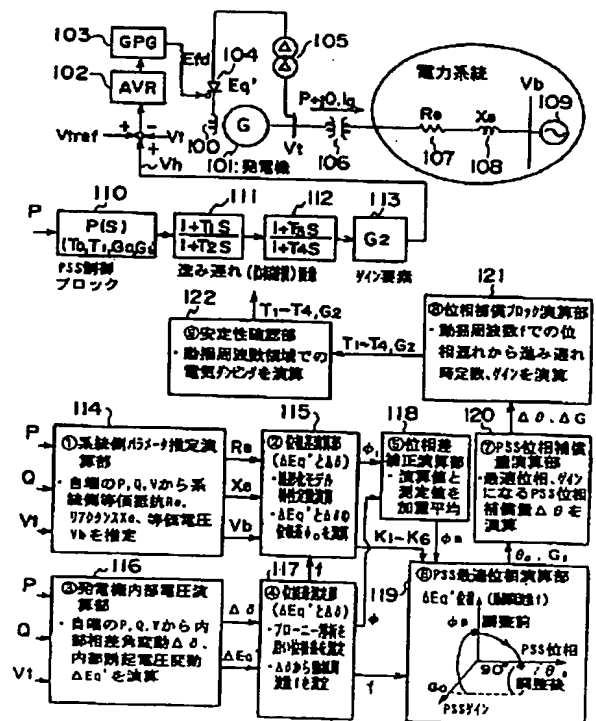
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 発電機励磁制御装置

(57)【要約】

【課題】 中間負荷の位置によらず一機無限大系統モデルを構成し、発電機自端における電氣量を基に安定化信号を生成するための制御定数を最適値に設定すること。

【解決手段】 発電機自端の有効電力、無効電力と端子電圧のみからパラメータ推定演算部114において系統側の等価抵抗、等価リアクタンスおよび等価電圧を推定し、各推定値と発電機定数を基に位相差演算部115において線形化ブロック線図を作成して発電機内部誘起電圧と内部相角との位相差を求め、かつ特性定数 $K_1 \sim K_6$ を求め、位相差と特性定数を基にPSS位相補償量演算部120において最適位相、ゲインになるPSS位相補償量 $\Delta\theta$ を求め、この演算値に基づいて時定数 $T_1 \sim T_4$ 、ゲイン G_2 を求め、この時定数とゲインにしたがって進み遅れ要素111、112の時定数およびゲイン要素113のゲインを決定する。



(2)

1

【特許請求の範囲】

【請求項1】 電力系統に接続された発電機の端子電圧と端子電圧設定値との偏差に基づいて前記発電機の界磁電圧を制御する界磁制御手段と、前記電力系統の動揺を示す信号に制御定数に従った演算処理を施して前記電力系統の動揺を抑制するための安定化信号を生成し前記安定化信号を前記端子電圧設定値に加える系統安定化手段と、前記発電機自端における複数の電気量から前記電力系統のパラメータを推定する系統パラメータ推定手段と、前記発電機自端における複数の電気量から発電機励磁系の遅れを推定する励磁系遅れ推定手段と、前記系統パラメータ推定手段の推定結果と前記励磁系遅れ推定手段の推定結果に基づいて前記系統安定化手段の制御定数を設定する制御定数設定手段とを備えてなる発電機励磁制御装置。

【請求項2】 電力系統に接続された発電機の端子電圧と端子電圧設定値との偏差に基づいて前記発電機の界磁電圧を制御する界磁制御手段と、前記電力系統の動揺を示す信号に制御定数に従った演算処理を施して前記電力系統の動揺を抑制するための安定化信号を生成し前記安定化信号を前記端子電圧設定値に加える系統安定化手段と、前記発電機自端における複数の電気量から前記電力系統のパラメータを推定する系統パラメータ推定手段と、前記系統パラメータ推定手段の推定結果に基づいて前記系統安定化手段の制御定数を設定する制御定数設定手段とを備え、前記系統パラメータ推定手段は、前記発電機から前記電力系統を見た等価リアクタンス、等価電圧および等価抵抗を推定してなる発電機励磁制御装置。

【請求項3】 前記系統パラメータ推定手段は、前記電力系統を一台の定電圧源と見たときの等価リアクタンス、等価電圧および等価抵抗を、前記発電機自端における有効電力、無効電力および端子電圧から推定演算してなる請求項1または2に記載の発電機励磁制御装置。

【請求項4】 前記制御定数設定手段は、前記系統パラメータ推定手段の推定結果と発電機定数および励磁制御装置定数から前記発電機の内部誘起電圧と内部相差角との位相差を演算により求め、この演算により得られた位相差に基づいて前記系統安定化手段の制御定数を設定してなる請求項3に記載の発電機励磁制御装置。

【請求項5】 前記励磁系遅れ推定手段は、前記発電機自端における有効電力、無効電力および端子電圧から前記発電機の内部誘起電圧と内部相差角を推定演算し、前記各演算値に関する時間軸上の波形から前記発電機の内部誘起電圧と内部相差角との位相差を測定して発電機励磁系の遅れを求めてなる請求項1または4に記載の発電機励磁制御装置。

【請求項6】 前記励磁系遅れ推定手段は、前記各演算値に対してブローニ解析法を適用して前記各演算値に関する時間軸上の波形から前記発電機の内部誘起電圧と内部相差角との位相差を測定してなる請求項5に記載の

2

発電機励磁制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、発電機励磁制御装置に係り、特に、発電機自端のみの情報から多数の同期機や負荷などから構成される電力系統の状態を推定し、系統安定化のために最適な系統安定系の制御定数を決定するに好適な発電機励磁制御装置に関する。

【0002】

【従来の技術】大容量電源の遠隔化、偏在化に伴い、電源・基幹送電線は長距離化、重潮流化して動態安定度は低下する傾向にある。そこで、電力系統の動態安定度を維持するに際して、系統安定化装置（Power System Stabilizer；以下、PSSと略記する。）が実用化されている。PSSは、発電機励磁制御装置の一要素として、電力系統の動揺を発電機有効電力、角速度、周波数などの変化から検出し、この検出値にしたがって系統の動揺を抑制するための安定化信号を生成し、この安定化信号を発電機励磁系の端子電圧設定値に付加するようになっている。発電機励磁系においては、端子電圧設定値に付加された安定化信号を基に界磁電圧を調整して電力動揺を抑制するようになっている。

【0003】従来のPSSにおいては、電力系統の動揺を示す信号、例えば、発電機の有効電力に関する信号を検出してPSS制御ブロックに入力し、この入力した信号に対して振幅や位相を変化させる処理を施して安定化信号を生成するようになっている。この場合、従来の電力動揺を示す信号が入力されるPSS制御ブロックにおける最適設定値（制御定数）は、電力系統を一機無限大系統に置き換えて求める手法が採用されている。すなわち、多機系統を分散制御の対象となる発電機と、発電機からみた外部系統とに分けて考え、外部系統を等価送電線リアクタンス X_e と等価母線電圧 $V_b \angle \delta_b$ で縮約して表現し、また系統の状態変化を等価リアクタンス X_e と等価母線電圧 V_b の変化として捉えて表現していた。

【0004】例えば、電気学会電力・エネルギー部門誌104巻第11号、昭和59年第32頁に記載されている例は、多機系を一機無限大系統に置き換えて状態方程式を導出し、最適発電機制御のフィードバックゲインを求めている。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】従来技術におけるPSSは、通常、一機無限大系統を想定して、安定化信号を生成するための制御定数を設定しているため、一機無限大系統の送電線の中に局所系統負荷が存在し、比較的周期の長い電力動揺が発生すると、PSSの効果が少なくなる恐れがある。

【0006】そこで、電力系統の状態によりPSSの制御定数を最適値に設定するに際して、発電機の運転状況や負荷の量などの情報を直接入手する方法が検討されて

50

(3)

3

いる。しかし、この方法では、電力系統の各部に情報入手手段としての通信設備を設けなければならない、通信設備がコストアップの要因となって現実的ではない。

【0007】なお、電気学会電力・エネルギー部門誌106巻第9号、昭和61年第57頁に記載されているように、等価局所負荷を考慮したものが提案されている。しかし、この例では、負荷の位置を発電機至近端に限定して定式化しているため、中間負荷の位置によっては正確な一機無限大系統モデルを構成することができない。

【0008】本発明の目的は、中間負荷の位置によらず一機無限大系統モデルを構成し、発電機自端における電氣量を基に安定化信号を生成するための制御定数を最適値に設定することができる発電機励磁制御装置を提供することにある。

【0009】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するためには、本発明は、電力系統に接続された発電機の端子電圧と端子電圧設定値との偏差に基づいて前記発電機の界磁電圧を制御する界磁制御手段と、前記電力系統の動揺を示す信号に制御定数に従った演算処理を施して前記電力系統の動揺を抑制するための安定化信号を生成し前記安定化信号を前記端子電圧設定値に加える系統安定化手段と、前記発電機自端における複数の電氣量から前記電力系統のパラメータを推定する系統パラメータ推定手段と、前記発電機自端における複数の電氣量から発電機励磁系の遅れを推定する励磁系遅れ推定手段と、前記系統パラメータ推定手段の推定結果と前記励磁系遅れ推定手段の推定結果に基づいて前記系統安定化手段の制御定数を設定する制御定数設定手段とを備えてなる発電機励磁制御装置を構成したものである。

【0010】前記発電機励磁制御装置を構成するに際しては、前記制御定数設定手段として、前記系統パラメータ推定手段の推定結果に基づいて前記系統安定化手段の制御定数を設定する機能を有するものを用い、前記パラメータ推定手段として、前記発電機から前記電力系統をみた等価リアクタンス、等価電圧および等価抵抗を推定してなる機能を有するものを用いて構成することができる。

【0011】前記各発電機励磁制御装置を構成するに際しては、以下の要素を付加することができる。

【0012】(1) 前記系統パラメータ推定手段は、前記電力系統を一台の定電圧源と見たときの等価リアクタンス、等価電圧および等価抵抗を、前記発電機自端における有効電力、無効電力および端子電圧から推定演算してなる。

【0013】(2) 前記制御定数設定手段は、前記系統パラメータ推定手段の推定結果と発電機定数および励磁制御装置定数から前記発電機の内部誘起電圧と内部相角度との位相差を演算により求め、この演算により得られた位相差に基づいて前記系統安定化手段の制御定数を設

4

定してなる。

【0014】(3) 前記励磁系遅れ推定手段は、前記発電機自端における有効電力、無効電力および端子電圧から前記発電機の内部誘起電圧と内部相角度を推定演算し、前記各演算値に関する時間軸上の波形から前記発電機の内部誘起電圧と内部相角度との位相差を測定して発電機励磁系の遅れを求めてなる。

【0015】(4) 前記励磁系遅れ推定手段は、前記各演算値に対してブローニー解析法を適用して前記各演算値に関する時間軸上の波形から前記発電機の内部誘起電圧と内部相角度との位相差を測定してなる。

【0016】前記した手段によれば、発電機自端における電氣量を基に一機無限大系統モデルを構成し、このモデルを基に安定化信号を生成するための制御定数を適正な値に設定するようにしたため、中間負荷が系統のどの位置にあっても一機無限大系統モデルを構成して、安定化信号を生成するための制御定数を決定することができる、系統の安定化に寄与することができる。

【0017】具体的には、系統の外乱により発生する発電機有効電力、無効電力、電圧変動を発電機自端のみで検出することにより、外部系統の等価系統、等価リアクタンスおよび等価母線電圧を推定して設計用外部系統モデルを作成し、このモデルにしたがって制御定数を決定するようにしているため、系統の安定化に寄与することができる。

【0018】系統モデルを作成するに際しては、以下の点が考慮されている。すなわち、中距離大容量送電のような場合には、電力系統を等価リアクタンスと等価母線電圧で縮約表現し、一機無限大モデルを構成して設計することができる。一方、発電機と需要地との間に中間負荷が存在する場合には、中間負荷付きの一機無限大系統を想定する必要がある。すなわち、後述するように、定インピーダンス特性の中間負荷を有する電力系統は、リアクタンス分と抵抗分を持つ送電線が無限大母線に繋がるモデルに等価変換される。したがって、発電機から無限大母線を見たときの送電線の抵抗分、リアクタンス分と母線電圧が求められればよい。ただし、発電機を一機とし、負荷を定インピーダンス特性としてモデル化しているため、一機無限大簡略モデル系統と実系統（実際の系統）での発電機の挙動には差異が生じる場合がある。このような場合、発電機自端の有効電力、無効電力、端子電圧のみからブローニー解析法を用いて発電機内部誘起電圧を同定することにより、発電機および発電機制御系（発電機励磁系）への状態を反映することができる。

【0019】次に、系統モデルを作成するための原理および発電機の内部誘起電圧を同定するための原理について説明する。

【0020】まず、一機一負荷無限大系統モデルを作成するに際しては、図1に示すように、中間負荷を有する電力系統を分散制御の対象となる発電機11と、発電機

(4)

11から見た外部系統とに分けて考えると、外部系統をT型等価回路で表現することができる。ここで、送電線の等価アドミッタンス12、14の間に定インピーダンス特性を有する局所負荷が存在すると仮定し、この局所負荷を等価アドミッタンス13で表現している。また送*

*電線は等価定電圧源15に接続されていると仮定している。そして、図1に示した系統モデルをベクトルで表すと、次の(1)式が成り立つ。

【0021】

【数1】

$$\begin{aligned} I_g &= (V_1 - V_2)Y_{12} \\ Y_{12}(V_1 - V_2) &= (V_2 - V_b)Y_{23} + Y_{22}V_2 \end{aligned} \quad \dots\dots (1)$$

(1)式でV2を消去して整理すると、(2)式が得られる。
10※【0022】
※【数2】

$$I_g = \frac{Y_{12}(Y_{22} + Y_{23})}{Y_{12} + Y_{22} + Y_{23}} \left(V_1 - \frac{Y_{23}}{Y_{22} + Y_{23}} V_b \right) \quad \dots\dots (2)$$

(2)式より、図1の一機一負荷無限大モデルは、図2に示すような一機無限大系統モデルに等価変換できる。すなわち、発電機21が等価アドミッタンス22を介して等価定電圧源23に接続されているモデルに変換できる。さらに、図1における局所負荷の力率を1とし、定インピーダンス特性と仮定すると、Y22は等価コンダクタンスGで表すことができる。また送電線のコンダクタンス分を無視し、サセプタンス分のみと仮定した場合、負荷の大きさが大きくなると、図2における伝達インピーダンスの抵抗分や等価定電圧源23の電圧降下が大きくなって無視できない量になる。このため、電力系統のパラメータとして、発電機から無限大母線を見た等価送電線リアクタンス、等価母線電圧の他に、等価送電★

★線抵抗を推定する必要がある。

【0023】これら電力系統のパラメータを推定するに際しては、図3に示すように、図2に示す等価一機無限大系統モデルを図3に示すPSS設計用一機無限大系統モデルに変換する。図3は、図2に示す系統モデルをインピーダンスで表現したものであり、発電機31が等価抵抗32と等価リアクタンス33を介して等価定電圧源34に接続された回路を示している。

【0024】図3において、発電機31の有効電力と無効電力は、無効電力が発生する場合の符号を正と定義すると、有効電力P、無効電力Q、端子電圧Vt、電機子電流Igは、次の(3)式で示されるように、

【数3】

$$\begin{aligned} P + jQ &= V_t \cdot \overline{I_g} \\ &= V_t \cdot \overline{(V_{t0} - V_b) / (R_e + jX_e)} \\ &= (\overline{I_g} : I_g \text{の共役ベクトル}) \end{aligned} \quad \dots\dots (3)$$

となり、(3)式より、P、Qは、次の(4)、(5) ☆【数4】
式で示すように、 ☆

$$P = \{ \operatorname{Re} \{ V_t^2 - V_t \cdot V_b \cdot \cos \theta \} + X_e \cdot V_t \cdot V_b \cdot \sin \theta \} / (R_e^2 + X_e^2) \quad \dots\dots (4)$$

【数5】

$$Q = \{ X_e \cdot (V_t^2 - V_t \cdot V_b \cdot \cos \theta) - R_e \cdot V_t \cdot V_b \cdot \sin \theta \} / (R_e^2 + X_e^2) \quad \dots\dots (5)$$

となる。

◆の(6)式が得られる。

【0025】(4)、(5)式よりθを消去し、Ig² 【0026】
・Vt²=P²+Q²の関係を使用して整理すると、次 ◆ 【数6】

$$(R_e^2 + X_e^2) \cdot I_g^2 - 2(Q \cdot X_e + P \cdot R_e) + V_t^2 - V_b^2 = 0 \quad \dots\dots (6)$$

ここで、Vb、Re、Xeが一定とみなせる間に、発電機の過渡動揺により3組の計測値(Q1~Q3、P1~P3、Vt1~Vt3)が得られたとすると、(6)式

は次の(7)、(8)、(9)式で表される。

【0027】

【数7】

(5)

$$(R_e^2 + X_e^2) \cdot I_{g1}^2 - 2(Q_1 \cdot X_e + P_1 \cdot R_e) + V_{t1}^2 + V_b^2 = 0 \quad \dots\dots (7)$$

【数8】

$$(R_e^2 + X_e^2) \cdot I_{g2}^2 - 2(Q_2 \cdot X_e + P_2 \cdot R_e) + V_{t2}^2 - V_b^2 = 0 \quad \dots\dots (8)$$

【数9】

$$(R_e^2 + X_e^2) \cdot I_{g3}^2 - 2(Q_3 \cdot X_e + P_3 \cdot R_e) + V_{t3}^2 - V_b^2 = 0 \quad \dots\dots (9)$$

(7) ~ (9) 式より次の(10)式が得られる。

* 【数10】

【0028】

* 10

$$R_e = AX_e + B$$

$$A = \frac{2Q_1(I_{g2}^2 - I_{g3}^2) - 2Q_2(I_{g1}^2 - I_{g3}^2) + 2Q_3(I_{g1}^2 - I_{g2}^2)}{-2P_1(I_{g2}^2 - I_{g3}^2) + 2P_2(I_{g1}^2 - I_{g3}^2) + 2P_3(I_{g1}^2 - I_{g2}^2)} \quad \dots\dots (10)$$

$$B = \frac{-(V_{t1}^2 - V_{t2}^2)(I_{g2}^2 - I_{g3}^2) + (V_{t2}^2 - V_{t3}^2)(I_{g1}^2 - I_{g2}^2)}{-2P_1(I_{g2}^2 - I_{g3}^2) + 2P_2(I_{g1}^2 - I_{g3}^2) + 2P_3(I_{g1}^2 - I_{g2}^2)}$$

(10) 式を(7) 式に代入して R_e を消去すると、次の(11) 式が得られる。

※ 【0029】

※ 【数11】

$$aX_e^2 - 2bX_e + c = 0$$

$$a = (A^2 + 1)(I_{g1}^2 - I_{g2}^2)$$

$$b = (Q_1 - Q_2) + A(P_1 - P_2) - AB(I_{g1}^2 - I_{g2}^2) \quad \dots\dots (11)$$

$$c = V_{t1}^2 - V_{t2}^2 + B^2(I_{g1}^2 - I_{g2}^2) - 2B(P_1 - P_2)$$

(11)、(10)、(7) 式より等価抵抗推定値 R_e 、等価リアクタンス推定値 X_e 、母線電圧推定値 V_b は次の(12)、(13)、(14) 式で表される。

【数13】

$$X_e = \frac{b \pm \sqrt{b^2 - ac}}{a} \quad \dots\dots (13)$$

【0030】

【数14】

【数12】

$$R_e = AX_e + B \quad \dots\dots (12)$$

$$V_b = \sqrt{(R_e^2 + X_e^2)I_{g1}^2 - 2(Q_1 \cdot X_e + P_1 \cdot R_e) + V_{t1}^2} \quad \dots\dots (14)$$

(12) ~ (14) 式は、発電機から電力系統を見たとき、発電機が抵抗 R_e 、リアクタンス X_e の送電線を経由して電圧 V_b の母線に接続されていることを表している。

【0031】一方、図3に示した一機無限大系統モデルを発電機の運動方程式で表すと、次の(15) 式で示すように、

【数15】

$$M \frac{d^2 \delta}{dt^2} + D \frac{d\delta}{dt} + P_e = P_M \quad \dots\dots (15)$$

となる。

【0032】ここで、 M は発電機の慣性定数、 δ は発電機の内部相差角、 P_M は発電機の機械的入力（タービンの出力）、 P_e は発電機の電氣的出力、 D は制動係数である。

50 【0033】(15) 式より、発電機の励磁系の制御に

(6)

9

より電氣的出力 P_e が δ の微分項に比例するように変化すれば、制動項になることが分かる。発電機の内部誘起電圧 E_q' は、発電機の電氣的出力 P_e に直接比例する量であるため、 E_q' が δ の微分に比例するように変化すれば、微分方程式の制動項となる。すなわち、 E_q' が δ (発電機の回転速度 $\Delta\omega$ を積分して得られた値) より 90° 進みになればよいことになる。

【0034】次に、発電機励磁系の状態を同定するに際*

$$\begin{aligned} E' &= V_t + jX_d' \cdot I_g \\ &= V_q - jV_d + jX_d' (i_q - j \cdot i_d) \quad \dots\dots\dots (16) \\ &= V_q + X_d' \cdot i_d - j(V_d - X_d' \cdot i_q) \end{aligned}$$

となる。

【0036】発電機内部誘起電圧 E_q' は E' の実数部であるので、 E_q' は、次の (17) 式で示すように、

【数17】

$$E_q' = V_q + X_d' \cdot i_d \quad \dots\dots\dots (17)$$

となる。

※20

【数18】

$$\begin{aligned} i_q &= \frac{P \cdot V_t}{\sqrt{(P \cdot X_q)^2 + (V_t^2 + X_q \cdot Q)^2}} \\ V_q &= \sqrt{V_t^2 - X_q^2 \cdot i_q^2} \quad \dots\dots\dots (18) \\ i_d &= \frac{Q + X_q \cdot i_q^2}{V_q} \\ V_d &= X_q \cdot i_q \end{aligned}$$

ここで、 X_d' は発電機の直軸過渡リアクタンスである。

【0039】一方、図5に示すように、内部相差角 δ は、同期リアクタンス X_q 背後電圧 E_q と端子電圧 V_t とのなす角度である。

【0040】ここで、同期リアクタンス X_q 背後電圧 E_q と端子電圧 V_t との位相差を δ とすると、この位相差 δ は、次の (19) 式で示すように、

【数19】

$$\delta = \arctan \left(\frac{V_d}{V_q} \right) \quad \dots\dots\dots (19)$$

となる。

【0041】ここで、 V_q は電機子電圧 V_t の q 軸成分、 V_d は電機子電圧 V_t の d 軸成分であって、(18) 式によって求めることができる。

【0042】

【発明の実施の形態】以下、本発明の一実施形態を図面

10

*して、発電機自端の有効電力、無効電力および端子電圧から発電機内部相差角と発電機内部誘起電圧との位相差を演算により求める方法を図4および図5にしたがって説明する。

【0035】まず、図4に示す発電機内部電圧をベクトルで表すと、次の (16) 式で示すように、

【数16】

※【0037】ここで、 V_q は端子電圧 V_t の q 軸成分、 i_d は電機子電流 I_g の d 軸成分、 i_q は電機子電流 I_g の q 軸成分であり、これらは、以下の (18) 式で発電機自端の P 、 Q 、 V_t のみから演算により求めることができる。

【0038】

【数18】

に基づいて説明する。図6は本発明を適用したサイリスタ励磁方式による発電機励磁制御装置の一実施形態を示すブロック構成図である。図1において、発電機101は主変圧器106を介して電力系統に接続されており、発電機101の界磁巻線100にはサイリスタ104を介して励磁用変圧器105が接続されている。サイリスタ104は自動パルス位相器103からのパルス信号によって点弧タイミングが制御されるようになっており、自動パルス調整器103はAVR(自動電圧調整器)102に接続されている。AVR102は、発電機端子電圧一定制御機能を有しており、発電機101の端子電圧を検出し、検出した端子電圧 V_t と端子電圧設定値 V_{tref} とを比較し、両者の偏差の大きさに応じた電圧の信号、すなわち偏差を零に抑制するための電圧を自動パルス位相器103に出力するようになっている。自動パルス位相器103はAVR102からの電圧の大きさに応じて位相が変化するパルス信号を生成し、このパルス信号をサイリスタ104に印加してサイリスタの点弧タイミングを制御するようになっている。この点弧タイ

40

50

(7)

11

ミングによってサイリスタ104の点弧角が制御されると、界磁巻線100に印加される界磁電圧 E_{fd} が点弧角に応じて調整されるようになっている。すなわち、AVR102、自動パルス位相器103、サイリスタ104、励磁用変圧器105は、端子電圧 V_t と端子電圧設定値 V_{tref} との偏差に基づいて発電機101の界磁電圧を制御する界磁制御手段として構成されている。そして端子電圧設定値 V_{tref} には、この設定値を補正するための安定化信号 V_h が入力されており、この安定化信号 V_h は、系統安定化手段を構成するPSS制御ブロック110、進み遅れ要素111、112、ゲイン要素113によって生成されるようになっている。

【0043】PSS制御ブロック110には、電力系統の動揺を示す信号として、例えば、発電機101の自端で検出された有効電力 P に関する信号が入力されており、PSS制御ブロック110は、検出された有効電力 P に関する信号に、例えば、位相を 90° 進ませるための処理を行って、進み遅れ要素111に出力するようになっている。進み遅れ要素111は、 $(1+T_1S)/(1+T_2S)$ の関数で表され、進み遅れ要素112は、 $(1+T_3S)/(1+T_4S)$ の関数で表され、PSS制御ブロック110で処理された信号は、進み遅れ要素111、112でそれぞれ位相補償に関する処理が施された後、ゲイン要素113に入力される。ゲイン要素113においては、進み遅れ要素112からの信号に対してゲイン G_2 を乗算する処理が行われ、ゲイン要素113から安定化信号 V_h が出力されるようになって*

12

*いる。そして安定化信号 V_h のレベル（電圧の大きさ）は、時定数 $T_1 \sim T_4$ 、ゲイン G_2 を含む制御定数によって調整されるようになっており、これら制御定数は系統側パラメータ推定演算部114の演算値に基づいて決定されるようになっている。

【0044】系統側パラメータ推定演算部114は、系統パラメータ推定手段として、発電機101の自端で検出された有効電力 P 、無効電力 Q 、端子電圧 V_t を基に前記(12)～(14)式を用いて、電力系統のパラメータとして、系統側等価抵抗 R_e 107、等価リアクタンス X_e 108、等価定電圧源109の等価電圧 V_b を推定演算し、演算値 R_e 、 X_e 、 V_b を位相差演算部115に出力するようになっている。

【0045】位相差演算部115においては、系統側パラメータ推定演算部114で推定演算して得られた系統側の等価リアクタンス推定値 X_e と等価母線電圧推定値 V_b を使用し、さらに発電機および発電機励磁系の定数を使用して同期機特性定数 $K_1 \sim K_6$ を求めるとともに、発電機内部誘起電圧 E_q' と発電機内部相差角 δ との位相差 ϕ を演算によって求めるようになっている。この場合、本実施形態においては、図3に示す系統モデルを図7に示すブロック線図に変換して定数 $K_1 \sim K_6$ を求めることとしている。図7は、発電機101の基本特性を2反作用理論で表し、運転点近傍で線形化して一機無限大系をブロック線図で表した結果である。図7における $K_1 \sim K_6$ は次の(20)式に示すように、

【数20】

$$\begin{aligned}
 K_1 &= \frac{V_q V_b}{X_e + X_q} \cos \delta_0 + \frac{X_q - X_d'}{X_q} \frac{V_d V_b}{X_d' + X_e} \sin \delta_0 \\
 K_2 &= \frac{V_b}{X_d' + X_e} \sin \delta_0 \\
 K_3 &= \frac{X_d' + X_e}{X_d + X_e} \\
 K_4 &= \frac{X_d - X_d'}{X_d + X_e} V_b \sin \delta_0 \\
 K_5 &= \frac{X_q}{X_e + X_q} \frac{V_d}{V_t} V_d \cos \delta_0 - \frac{X_d'}{X_d' + X_e} \frac{V_q}{V_t} V_b \sin \delta_0 \\
 K_6 &= \frac{X_e}{X_d' + X_e} \frac{V_q}{V_t}
 \end{aligned}
 \dots\dots\dots (20)$$

となる。

【0046】ここで、 X_d は発電機101の直軸同期リアクタンス、 X_q は横軸同期リアクタンス、 X_d' は直

軸過渡リアクタンスである。なお、系統側の等価抵抗 R_e は母線電圧推定値に反映されているが、(20)式では考慮されていない。また、 δ_0 は発電機同期リアク

(8)

13

ンス X_q 背後電圧 E_q と系統電圧推定値 V_b との間の相角度であり、系統側の等価リアクタンス推定値 X_e を用いて、次の(21)式により計算で求めることができる。

【0047】

【数21】

$$\delta_0 = \arctan \left(\frac{V_d + X_e i_q}{V_q - X_e i_d} \right) \quad \dots\dots (21)$$

(21)式における V_d 、 V_q 、 i_d 、 i_q は、(18)式に示すように、発電機101の自端で検出された P 、 Q 、 V_t のみから演算により求めることができる。

【0048】以上の計算により、線形化系統モデルによる誤差、並列発電機や中間負荷などの影響で実際の系統*

14

*と一機無限大系統モデルの動特性には差異が生じる場合があるが、以下に述べるように、発電機励磁系の状態を同定することによって差異を補正することができる。

【0049】次に、動揺周波数 f における発電機内部誘起電圧 E_q' と発電機内部相角度 δ との位相差を演算により求めるに際しては、図7に示したブロック線図において、各ブロック要素の入出力関係を次の(22)式で表す。この場合、発電機モデル71は1質点の伝達関数モデルとして表現し、発電機励磁系は、伝達関数によるブロック72、AVR制御系は、伝達関数によるブロック73、PSS制御系(PSS制御ブロック110、進み遅れ要素111、112、ゲイン要素113を含む系)は伝達関数によるブロック74で表現している。

【0050】

【数22】

$$\begin{aligned} \Delta\delta &= \frac{\omega_0}{S} \Delta\omega \\ \Delta T_e &= K_2 \Delta E_q' + K_1 \Delta\delta \\ \Delta E_{fd} &= A(s) \{ -K_5 \Delta\delta + P(s) \Delta T_e - K_6 \Delta E_q' \} - K_4 \Delta\delta \quad \dots\dots (22) \\ \Delta E_q' &= G(s) \Delta E_{fd} \\ \Delta P_e &= \Delta T_e \quad (\Delta\omega = 0) \end{aligned}$$

ここで $\omega_0 = 2\pi f_0$, $f_0 = 50$ or 60

$\Delta\delta$: 内部相角度変動分

S : ラプラス演算子 ($= j\omega$) $\Delta\omega$: 発電機角速度変動分

ΔT_e : 電気トルク変動分 $\Delta E_q'$: 内部誘起電圧変動分

ΔE_{fd} : 界磁電圧変動分 ΔP_e : 有効電力変動分

$P(s)$: PSSブロック $A(s)$: AVRブロック $G(s)$: 界磁回路伝達関数

(22)式より発電機内部相角度 $\Delta\delta$ と内部誘起電圧変動 $\Delta E_q'$ との関係は、次の(23)式で示すように、※

$$\begin{aligned} \frac{\Delta E_q'}{\Delta\delta} &= \frac{-K_4 G(s) + G(s) A(s) \{ -K_5 + K_1 P(s) \}}{1 + G(s) A(s) \{ K_6 - K_2 P(s) \}} = \angle\phi \\ G(s) &= \frac{K_3}{1 + K_3 \cdot T_{do} \cdot s} \quad \dots\dots (23) \\ T_{do}' &: \text{開路時定数} \end{aligned}$$

となる。

【0051】動揺周波数 f における $\Delta E_q'$ の $\Delta\delta$ に対する等価位相遅れ ϕ は、(23)式において、ラプラス演算子 s を $j2\pi f$ で置き換えて、複素数の演算により容易に計算することができる。

【0052】一方、位相差測定部117とともに励磁系

遅れ推定手段を構成する発電機内部電圧演算部116は、発電機110の自端において検出された P 、 Q 、 V_t を基に、前記(17)、(18)、(19)式を用いて、発電機内部誘起電圧 E_q' と発電機内部相角度 δ を演算により求め、各演算値を位相差測定部117に出力している。位相差測定部117では、発電

(9)

15

機内部誘起電圧 E_q' と発電機内部相角度 δ に関する時間軸上の波形、例えば、図8(a)に示すように、 E_q' と δ に関する時間的な変動波形をブローニ解析して位相差 ϕ を測定し、測定結果を位相差補正演算部118に出力するようになっている。また動揺周波数 f は検出が容易な内部相角度 δ の時間的な変動波形をブローニ解析して測定するようになっている。この場合、図8(b)に示すように、内部誘起電圧変動 $\Delta E_q'$ が発電機内部相角度変動 $\Delta \delta$ に対して 90° 進みであれば、発電機励磁系は電力動揺抑制の観点から望ましい状態であり、PSSによる位相調整の必要はない。

【0053】位相差測定部117で用いるブローニ解析法は、一定期間の時系列データを基に、時間軸上の波形に含まれる振動モードを抽出し、各モード毎の周波数、位相、減衰率、初期振幅を算出する方法である。この具体的な解析法としては、例えば、電気学会電力・エネルギー部門誌120巻第2号、平成12年第141頁～147頁に記載されている方法を用いることができる。

【0054】位相差演算部118では、位相差演算部115の演算による位相差出力 ϕ_1 と位相差測定部117の測定による位相差 ϕ との加重平均を求め、演算値の誤差を測定値によって補正し、補正された位相差 ϕ_m をPSS最適位相演算部119に出力するようになっている。すなわち位相差補正部118では、測定値をそのまま用いず、演算値と測定値との加重平均を求めることとしている。

【0055】PSS最適位相演算部119においては、図7に示すブロック図において、内部誘起電圧変動 $\Delta E_q'$ が発電機内部相角度変動 $\Delta \delta$ に対して 90° 進みとなるように、PSSブロックの最適ゲイン、位相を演算によって求めるようになっている。PSSのゲイン、位相の最適化を行うに際しては、以下の考え方が考慮されている。すなわち、 $\Delta E_q'$ が $\Delta \delta$ に対して 90° 進みになるためには、前記(23)式が偏角 90° の純虚数になればよい。この場合、まず動揺周波数 f における調整前のPSS制御ブロック110における等価ゲイン G^*

16

* 1 と等価位相遅れ θ_1 を(23)式にしたがって演算により求める。次に、PSSの等価ゲインは G_1 とし、等価位相遅れ θ_1 を変化させ、(23)式が偏角 90° の純虚数となるようにする。この方法で解が得られない場合は、等価ゲイン G_1 を変化させ、さらに等価位相遅れ θ_1 を変化させて動揺の計算を行う。このようにして得られた等価ゲイン、等価位相を動揺周波数 f におけるPSSの最適ゲイン G_0 、最適位相遅れ θ_0 とする。

【0056】一方、等価ゲイン G_1 、等価位相遅れ θ_1 を変化させても回が存在しない場合は、(23)式が偏角 90° 付近になる準最適ゲイン、準最適位相遅れをそれぞれ G_0 、 θ_0 とする。このとき、仮に偏角が 45° ずれたとしても、 70% ($=\cos 45^\circ$) 程度の動揺抑制効果は期待できる。

【0057】次、PSS位相補償量演算部120では、調整前のPSS制御ブロックを基準にし、望ましいPSSのゲイン比を ΔG ($=G_0/G_1$)、位相差を $\Delta \theta$ ($=\theta_0 - \theta_1$) とする。

【0058】次に、位相補償ブロック演算部121では、動揺周波数 f において、ゲイン比 ΔG 、位相差 $\Delta \theta$ となる進み遅れ要素111、112の時定数 $T_1 \sim T_4$ 、ゲイン G_2 を決定する。

【0059】最後に、安定性確認部122において、PSS制御ブロック110、進み遅れ要素111、112、ゲイン要素113の動揺周波数領域 $f_1 \sim f_2$ における電気ダンピングが正であることを確認する。この電気ダンピング D_e は、図7において、電気出力変化 ΔT_e と角速度変動 $\Delta \omega$ との比の実部で与えられる。すなわち、電気ダンピング D_e は、次の(24)式でラプラス演算子 s を $j2\pi f$ で置き換えて、複素数の演算により容易に計算することができる。なお、位相差演算部115、位相差補正演算部118、PSS最適位相演算部119、PSS位相補償量演算部120、位相補償ブロック演算部121、安定性確認部122は制御定数設定手段の一要素を構成するようになっている。

【0060】

【数24】

$$D_e = \text{Real} \frac{\Delta T_e}{\Delta \omega} = \text{Real} \left[\frac{K_1 - K_2 K_4 G(s) + G(s) A(s) \{ -K_2 K_5 + K_1 K_6 \}}{1 + G(s) A(s) \{ K_6 - K_2 P(s) \}} \cdot \frac{\omega_0}{s} \right] \quad \dots (24)$$

本実施形態によれば、中間負荷を有するような電力系統においても、発電機101から無限大母線を見た等価抵抗、等価リアクタンスや等価母線電圧を正確に推定することができるとともに、この推定結果を用いて等価一機無限大モデルを作成し、PSSの最適制御ブロックの再設計を行うことができ、適切なPSS制御ブロックの設計にしたがって系統の安定化が図れる。

【0061】また、本実施形態によれば、発電機励磁系の実際の状態を発電機自端における電気量のみを測定して同定し、同定した結果にしたがってPSS制御ブロッ

クの制御定数を決定しているため、実際の系統と一機無限大モデルとの間に動的特性による偏差が生じてもこれを補正することができる。

【0062】

【発明の効果】以上説明したように、本発明によれば、発電機自端における電気量を基に一機無限大系統モデルを構成し、このモデルを基に安定化信号を生成するための制御定数を適正な値に設定するようにしたため、中間負荷が系統のどの位置にあっても一機無限大系統モデルを構成して、安定化信号を生成するための制御定数を決

(10)

17

定することができ、系統の安定化に寄与することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】中間負荷付き一機無限大モデルを示す図である。

【図2】等価一機無限大系統モデルを示す図である。

【図3】PSS設計用一機無限大系統モデルを示す図である。

【図4】発電機内部誘起電圧を求めるためのベクトル図である。

【図5】発電機内部相差角を求めるためのベクトル図である。

【図6】本発明を適用した発電機励磁制御装置の一実施形態を示すブロック図である。

【図7】一機無限大系統モデルの等価線形化ブロック線図である。

【図8】フローニー解析法を説明するための時間応答波形図である。

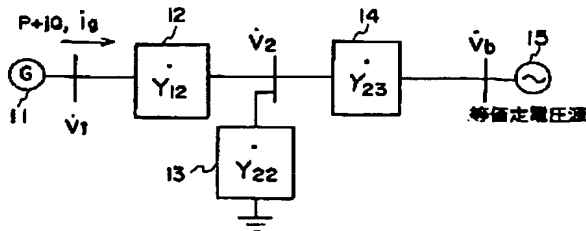
【符号の説明】

- 1 1 分散対象発電機
- 1 2 送電線等価アドミッタンス
- 1 3 中間負荷等価アドミッタンス
- 1 4 送電線等価アドミッタンス
- 1 5 等価定電圧源
- 2 1 分散制御対象発電機

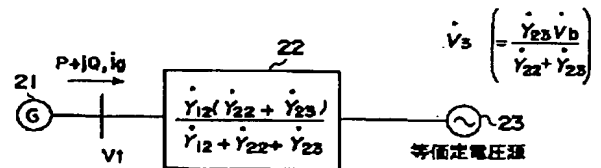
18

- 2 2 送電線等価アドミッタンス
- 2 3 等価定電圧源
- 3 1 分散対象発電機
- 3 2 等価抵抗
- 3 3 等価リアクタンス
- 3 4 等価定電圧源
- 1 0 1 分散制御対象発電機
- 1 0 2 AVR
- 1 0 3 自動パルス位相器
- 1 0 4 サイリスタ
- 1 0 5 励磁用変圧器
- 1 0 6 主変圧器
- 1 1 0 PSS制御ブロック
- 1 1 1、1 1 2 進み遅れ要素
- 1 1 3 ゲイン要素
- 1 1 4 系統側パラメータ推定演算部
- 1 1 5 位相差演算部
- 1 1 6 発電機内部電圧演算部
- 1 1 7 位相差測定部
- 1 1 8 位相差補正演算部
- 1 1 9 PSS最適位相演算部
- 1 2 0 PSS位相補償量演算部
- 1 2 1 位相補償ブロック演算部
- 1 2 2 安定性確認部

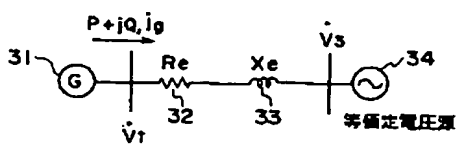
【図1】



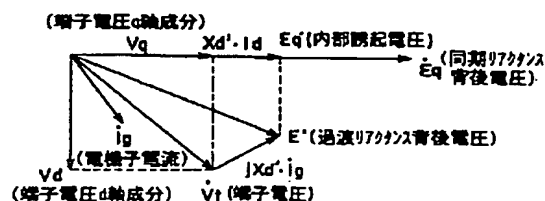
【図2】



【図3】

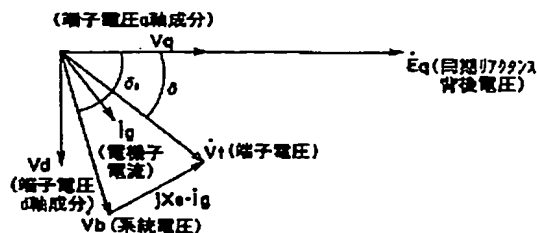


【図4】

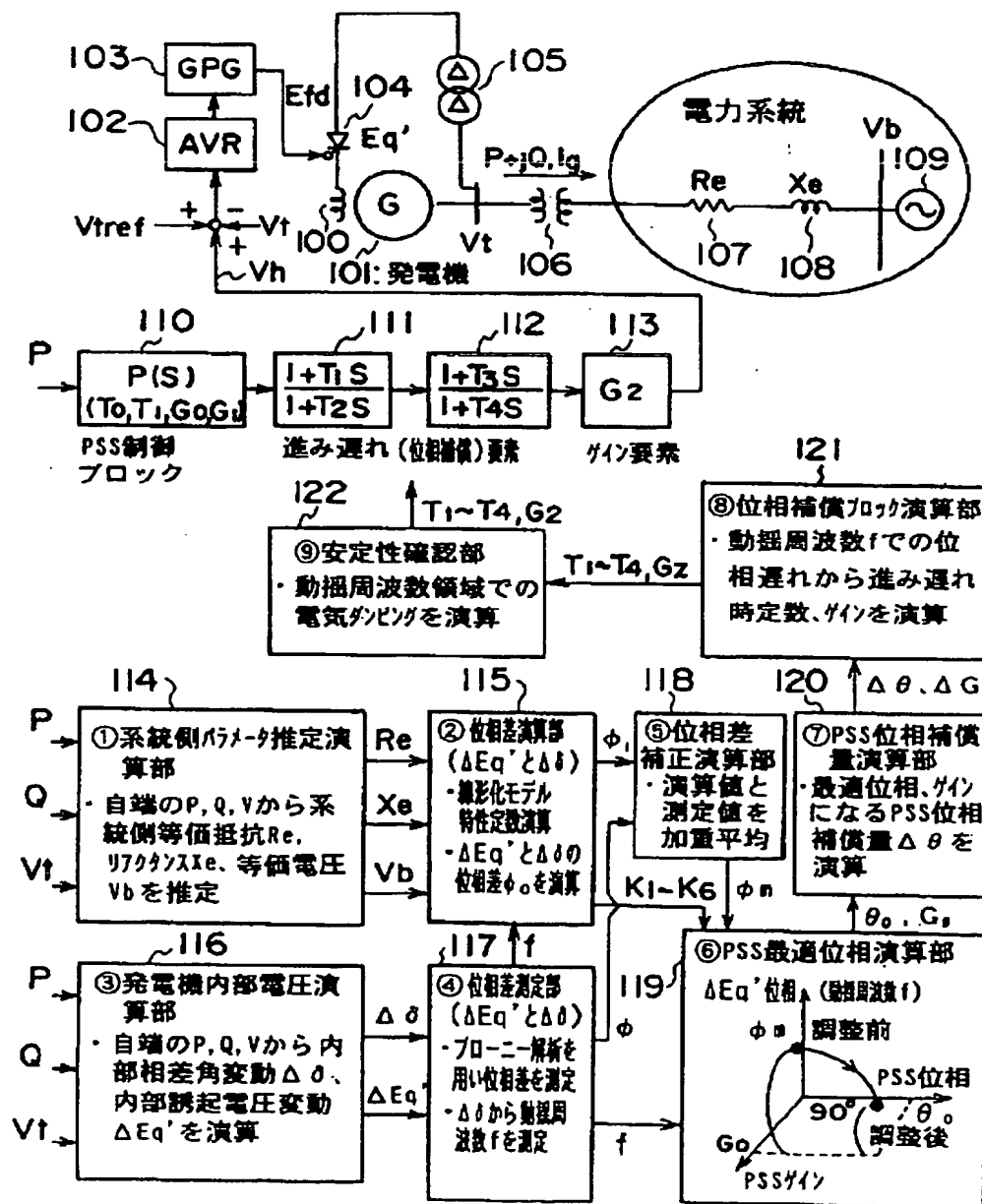


(11)

【図5】

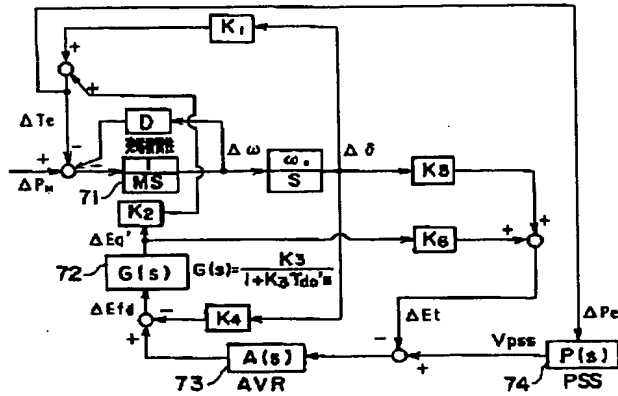


【図6】

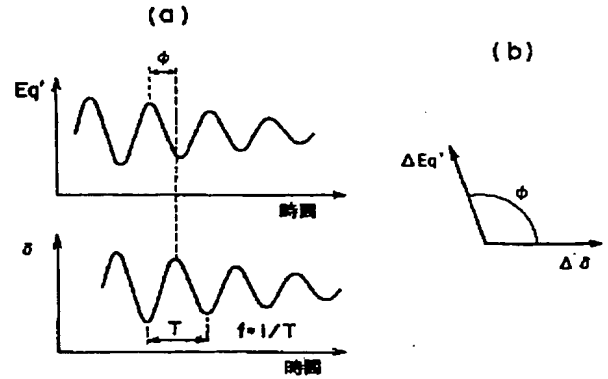


(12)

【図7】



【図8】



フロントページの続き

(72)発明者 後藤 益雄
茨城県日立市国分町一丁目1番1号 株式
会社日立製作所電機システム事業部内

(72)発明者 天野 雅彦
茨城県日立市大みか町七丁目1番1号 株
式会社日立製作所日立研究所内

(72)発明者 柴田 勝彦
大阪府大阪市北区中之島三丁目3番22号
関西電力株式会社内

(72)発明者 禰里 勝義
大阪府大阪市北区中之島三丁目3番22号
関西電力株式会社内

(72)発明者 西垣内 秀俊
大阪府大阪市北区中之島三丁目3番22号
関西電力株式会社内

Fターム(参考) 5H590 AA11 AB11 BB11 CE01 DD64
EB02 EB15 EB29 FA06 FB07
FC15 GA02 GA05 GB05 HA10
HB02 JB06 KK04